

Дәріс 5 Сканерлеуші Зондтық микроскопия, Атомдық күштік микроскоп

Дәрістің жоспары:

1. Сканерлеуші атомды-күштік микроскоп
2. АКМ жұмыс істеу принципі
3. АКМ жұмыс істеу режимі

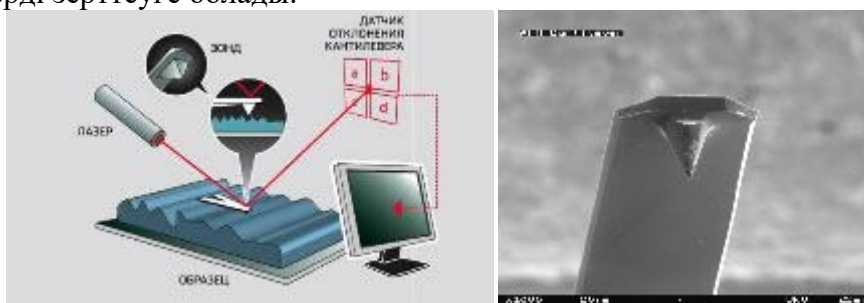
Сканерлеуші зондтың микроскоптарда беттің рельефін және оның қасиеттерін зерттеу, арнайы әдістермен жасалынатын ине түрінде келетін, зонд арқылы жүзеге асырылады. Бұндай зондтардың өлшемдері он нанометрге дейін жетеді. Зонд пен үлгі бетінің арасындағы сипаттамалы ара қашықтық зондтық микроскоптарда 0,1–10 нм шамасында болады. Зондтық микроскоптардың жұмыс істеу принципінің негізін зонд пен үлгі бетінің арасында өтетін әсерлесулер құрайды. Мысалы, туннельдік микроскоптың жұмысы металл ине мен өткізгіш үлгінің арасынан туннельді токтың өту құбылысына негізделген; атомдық-күштік микроскоптың, магниттік-күштік микроскоптың және электр-күштік микроскоптың жұмыстары әр түрлі күштік әсерлесулерге негізделген.

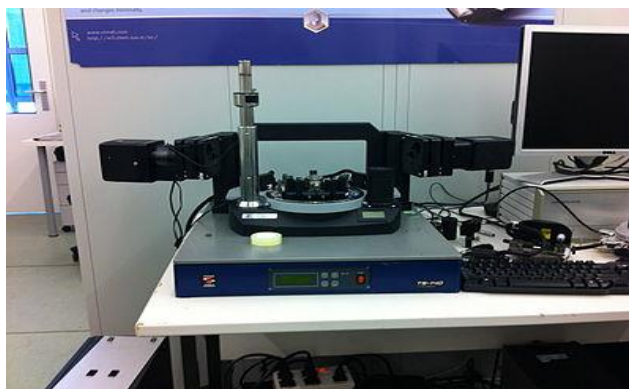
СЗМ Үлгі бетінің бейнесін және оның локальды сипаттамаларын алу үшін қолданылатын микроскоптар класына жатады. Суреттің пайда болу процесі бетті зонд арқылы сканерлеуге негізделген. Жалпы жағдайда беттің жоғарғы рұқсатты үшөлшемді (топография) суретін алуға мүмкіндік береді. Қазіргі сканерлеуші зондтық микроскопты 1981 жылы Герд Карл Бинниг және Генрих Рорер ойлап тауып, 1986 жылы олар Нобель сыйлығына ие болды. СЗМ-нің ерекшеліктері:

- Зондының болуы,
- Зондтың үлгіге қатысты 2-лік (X-Y) не 3-тік (X-Y-Z) координаттар бойынша орын ауыстыру жүйесінің болуы,
- Тіркеу жүйесінің болуы.

Атомдық күштік микроскоп – зонд пен үлгі арасындағы Ван-дер Ваальс күштеріне негізделген. АКМ – зат атомдары арасында әсерлесетін атомдық байланыс күштеріне негізделген. Зонд пен үлгі арасындағы қашықтық азайғанда тебілу күштері, ал қашықтық артқанда тартылу күштері әсер етеді.

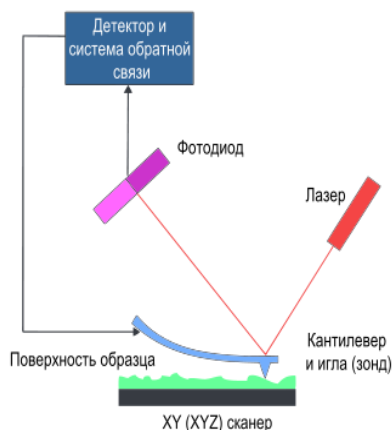
АКМ (атомдық күштік микроскоп) беттің ондаған ангстремнен атомдық деңгейге дейінгі рельефін анықтауда қолданылады. Сканерлеуші туннельді микроскоппен салыстырғанда, атомды-күштік микроскоптың көмегімен өткізгіш және өткізгіш емес беттерді зерттеуге болады.





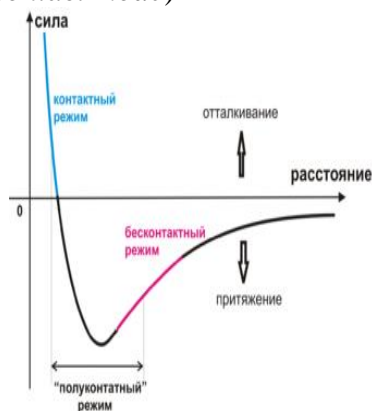
АКМ - жұмыс істеу принципі

Атомды-күшті микроскоптың жұмыс істеу принципі зерттелетін үлгі мен зонд бетінің арасындағы күштік әсерлесуге негізделген. Зонд ретінде кантилевер деп аталатын серпімді консольдің ұшында орналасқан наноразмерлі өткір ұшы (острие) бар ине қолданылады. Ине ұшының өлшемі бір немесе бірнеше атомға тең. Сканерлеу кезінде бет жақтан зондқа әрекет ететін күш, консольдің майысуына әкеледі.



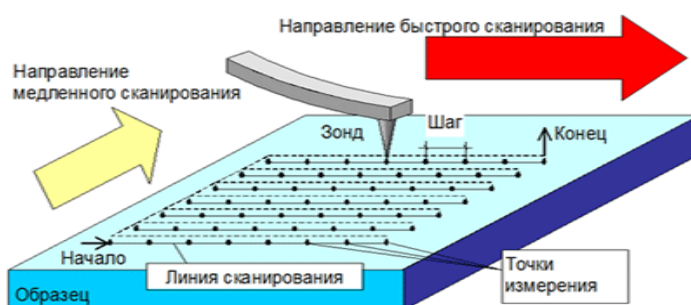
Зонд және үлгі арасында Ван-дер-Ваальс күштері әсер етеді. Алғашында ол күштер тартылыс күштері ал кейін біраз жақындаған соң (зонд пен үлгі) тебіліс күштеріне ауысады. Кантилевер және үлгі бетінің арасындағы күштердің сипатына қарай атомды-күштік микроскоптың жұмыс істеу режимдері 3-ке бөлінеді:

- Контакттілі (англ. *contact mode*)
- «Жартылайконтакттілі» (англ. *semi-contact mode* или *tapping mode*)
- Контакттілі емес (англ. *non-contact mode*)



Ван-дер-Ваальс күштерінің кантилевер мен үлгі бетінің арасындағы қашықтықтан тәуелділік графигі

Атомды-күштік микроскоптың контактілі жұмыс режимі



Кантилевердің өткір ұшы үлгі және бетпен тікелей контактіде (байланыста) болады. Сканерлеу, қайтымды байланыс жүйесі кантилевердің тұрақты майысу өлшемімен байланысып тұрғанда тұрақты күш режимінде орындалады.

Әдістің артықшылықтары:

- Басқа әдістермен салыстырғанда кедергіге қарсы тұруы көбірек;
- Сканерлеу жылдамдығы тез;
- Атомдық өлшемге дейін өлшеуге мүмкіндік беретін атомды-күштік микроскоптың (АКМ) жалғыз әдісі;
- Бетті сканерлеудің сапасын жоғарылатуды қамтамасыз етеді.

Әдістің кемшіліктері:

- Зондқа бет жағынан әрекет ететін бүйірлік (латеральды) күштердің болуымен байланысты жасандылықтың болуы.
- Ашық атмосферада (ауада) сканерлегенде зондқа капиллярлы күштер әсер етеді, олар беттің биіктігін анықтауда қателіктерді туғызады.
- Аз механикалық қаттылығы бар объектілерді зерттей алмайды (органикалық материалдар, биологиялық объектілер).

Атомды-күштік микроскоптың контактілі емес жұмыс режимі

Контактілі емес режимде жұмыс істеу кезінде пьезовибратордың көмегімен біршама жиілікте (көбіне, резонансты жиілікте) зондтың ауытқуы туындайды. Бет жақтан әсер ететін күш, зондтың амплитуда-жиілікті және фазалық-жиілікті сипаттамасының жылжуына алып келеді. Қайтымды байланыс жүйесі, ереже бойынша, зонд ауытқуының тұрақты амплитудасын қолдайды, ал әрбір нүктедегі фаза және жиілік өзгерісі жазылып отырады. Алайда, қайтымды байланысты ауытқудың тұрақты фаза немесе жиілігінің тұрақты өлшемдерін қолдау жолымен де орнатуға болады.

Әдістің артықшылығы:

- Зондтың зерттелетін бетке әсері болмайды.

Әдістің кемшіліктері:

- Барлық сыртқы шуларға өте сезімтал;
- Латеральдық рұқсат етуінің аздығы;
- Сканерлеу жылдамдығының аздығы;
- Вакуумды шарттарда ғана жұмыс жасайды;
- Сканерлеу кезінде кантилеверге үлгінің бетінен бөлшектер түсіп, оның жиілікті қасиеттерін өзгертеді және сканерлеу икемі «кетіп қалады».

Атомды-күштік микроскоптың «жартылайконтактілі» жұмыс режимі

Жартылай контактілі жұмыс режимінде де кантилевердің ауытқуы туындайды. Ауытқудың төменгі жартылай периодында кантилевер үлгінің бетін жанап өтеді.

Мұндай әдіс толық контактілі және толық контактілі емес жұмыс режимдерінің аралық әдісі болып табылады.

Артықшылығы:

- АКМ ішіндегі универсальды әдістердің бірі болып табылады. Көптеген зерттеу объектілерінде 1-5 нм дейінгі рұқсат етуі бар.
- Бет жақтан зондқа әсер ететін латеральды (бүйірлік) күштер болмайды.

Кемшілігі:

- Контактілі режиммен салыстырғанда сканерлеу жылдамдығы өте көп.

Атомды-күштік микроскоптың артықшылықтары мен кемшіліктері:

Артықшылықтары (растрлы электронды микроскоппен салыстырғанда):

- Беттің шынайы үшөлшемді бейнесін береді;
- Ток өткізбейтін беттерді де зерттей алады;
- Ауада немесе сұйықта жұмыс істей алады;
- Рұқсат етуі жоғары.

Кемшіліктері:

- Сканерлеу өрісінің размерінің кіші болуы;
- Бейненің сапасы зондтың қисықтық радиусына тәуелді(егер зондты дұрыс таңдамасақ, бейне анық, сапалы болып шықпайды)
- Үлгі бетін сканерлеуге көп уақыт жұмсайды.

Дәрісті бекіту сұрақтары:

- 1 Зондық микроскоптың түрлерін атаңыз?
- 2 Атомдық күштік микроскоп қандай режимдерде жұмыс істейді?
- 3 Әдістің артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсетіңіз?

Әдебиеттер тізімі:

1. Алфимова, М.М. Занимательные нанотехнологии / М.М. Алфимова. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 823 с.
2. В.И. Марголин и др. Введение в нанотехнологию / В.И. Марголин и др. - М.: Лань, 2012. - 464 с.
3. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии РАН Институт физики низкоструктур, г. Нижний Новгород, 2004. -110с.
4. Пашкеев, И.Ю. Самойлова, О.В. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ / Учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – 47 с.
5. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяновков А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Техносфера, Москва, 2009 г.
6. Griffiths G. The Use of Electron Microscopy in Cell Biology. MCB, 2004, 68 p.

